



⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENT- UND

MARKENAMT

Offenlegungsschrift

⑯ DE 101 26 848 A 1

⑯ Int. Cl.⁷:
B 23 Q 1/44

B 25 J 18/00

DE 101 26 848 A 1

⑯ Aktenzeichen: 101 26 848.3

⑯ Anmeldetag: 1. 6. 2001

⑯ Offenlegungstag: 12. 12. 2002

⑯ Anmelder:

Siemens AG, 80333 München, DE

⑯ Erfinder:

Hamann, Jens, Dr., 90765 Fürth, DE; Ladra, Uwe, 06110 Halle, DE; Schäfers, Elmar, Dr., 90419 Nürnberg, DE

⑯ Entgegenhaltungen:

DE 199 04 702 A1

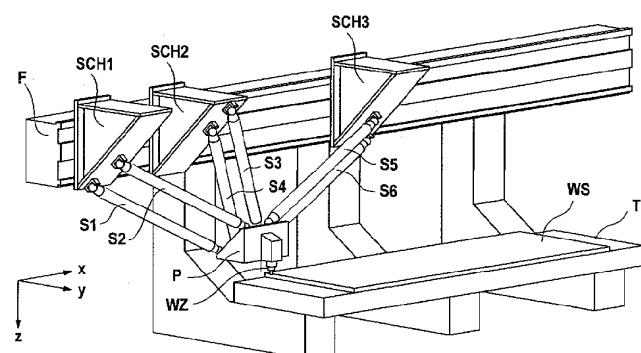
DE 197 03 735 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Produktionsmaschine

⑯ Parallelkinematiken mit Stabführung sind heutzutage vermehrt in Werkzeugmaschinen, Produktionsmaschinen und für Robotik im Einsatz. Durch Position der bewegten Arbeitsplattform (P) im Raum, durch deren Beschleunigung und durch andere Krafteinwirkung kann es zu Stablängenänderungen kommen, die Lage- und Positionsfehler verursachen. Durch in die Stäbe (S1 bis S6) integrierte Piezoaktoren (PA1 bis PA6) werden solche Fehler eliminiert.



DE 101 26 848 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Produktionsmaschine, auch Werkzeugmaschine oder Roboter, bei der ein Aggregat mittels einer von Verfahrachsen antreibbar Parallelkinematikanordnung mit kraftaufnehmenden Stäben im Raum positionierbar ist.

[0002] Typisch für das Prinzip der Parallelkinematik ist die Verwendung von Stäben, die sowohl für die Krafteinleitung zur Bewegung als auch zur Abstützung einer Plattform dienen. Handelsüblich ist beispielsweise ein Tripod, wie er im Zusammenhang mit **Fig. 1** noch ausführlich beschrieben wird. Bei einem solchen Tripod sind jeweils zwei Stäbe zueinander parallel angeordnet. Die Enden jedes Stabpaars sind jeweils mit einem Schlitten verbunden. Alle Schlitten werden entweder durch einen jeweils zugeordneten Linearmotor oder durch einen linear wirkenden Servomotor (Zahnstange und Ritzel) in x-Richtung bewegt. Somit können die insgesamt drei Motoren die drei Schlitten mit ihren jeweils zwei parallelen Stäben bewegen, indem die Schlitten auf einer einzigen gemeinsamen Achse verfahren werden. Dabei werden die Motoren so bewegt, dass die Plattform mit dem jeweils zugeordneten Werkzeug im gewünschten Arbeitsraum dreidimensional verfährt, ohne dass die Plattform kippen solle.

[0003] Es hat sich jedoch gezeigt, dass bereits aufgrund von Gewichtskräften arbeitspunktabhängige Schieflage der Plattform erfolgen können. Dies liegt daran, dass die an der Bewegung beteiligten Stäbe unterschiedliche Kräfte aufnehmen müssen, die zu unterschiedlichen Dehnungen führen. Um eine Vorstellung von der Größenordnung der Lagefehler zu geben, sei darauf hingewiesen, dass ohne weiteres Verschiebungen von bis zu 100 µm an der Plattform möglich sind.

[0004] Bislang ist eine Kompensation dieser Verschiebungen nur durch eine Anpassung der Längen der beteiligten Stäbe für eine ausgesuchte Position im Arbeitsraum möglich. Bewegt sich die Plattform aus der Position heraus, ändert sich die Kraftverteilung in den Stäben und damit auch die zu kompensierende Dehnung. Da die Schieflage der Plattform für alle Arbeitspunkte unterschiedliche ist, lässt sich also die Struktur über die Anpassung der Stablängen definitiv nur für eine Position optimal einstellen. Andere Positionen im Arbeitsbereich werden dadurch wiederum indirekt beeinflusst, was sich negativ oder positiv auswirken kann. Ein solcher Optimierungsprozess erfolgt heutzutage manuell mit großem Aufwand, um die angesteuerte Position eines Verfahrzyklus der Plattform im Mittel optimal einzustellen.

[0005] Außerdem statischen Fehler ist aber auch noch mit Dynamik- und Lastfehlern zu rechnen, worauf im folgenden noch eingegangen wird.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Produktionsmaschine der eingangs genannten Art so auszubilden, dass durch eine optimierte Stablängenkorrektur im gesamten Verfahrbereich optimale Verhältnisse erreicht werden.

[0007] Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass in mindestens einem der Stäbe ein Linearaktor vorgesehen ist, dessen Bewegungssachse mit der jeweiligen Stabachse korrespondiert.

[0008] Dadurch, dass als Aktor jeweils ein Piezoaktor vorgesehen ist, wird eine technisch ausgesprochen einfach realisierbare Anordnung gewährleistet.

[0009] Dadurch, dass dem Aktor jeweils ein entsprechend der Position des Aggregat zugeordneter Sollwert zur statischen Stablängenkorrektur zuleitbar ist, kann der einfachste Fall einer Kompensation ohne Beschleunigung- und Laufzeitwirkung beherrscht werden. Aber auch solche weitere

Störgrößen lassen sich dadurch kompensieren, dass dem Aktor jeweils entsprechend der Beschleunigung des Aggregats ein zugeordneter Sollwert zur dynamischen Stablängenkorrektur zuleitbar ist oder dass dem Aktor jeweils entsprechend einer Lastwirkung am Aggregat ein zugeordneter Sollwert zur lastabhängigen Stablängenkorrektur zuleitbar ist.

[0010] Die Anzahl der möglichen Bewegungsfreiheitsgrade hängt von der verwendeten Parallelkinematik ab. Demzufolge ist es gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausbildung der Erfindung vorgesehen, dass in so vielen Stäben jeweils ein Linearaktor vorgesehen ist, dass unter Zuhilfenahme einiger oder aller Verfahrachsen der Stäbe alle erforderlichen Bewegungsfreiheitsgrade beherrschbar sind. So ist es beispielsweise denkbar, dass bei drei Antrieben und drei Aktoren in jeweils einem Stab der Stabpaare eines Tripods dessen sechs mögliche Freiheitsgrade beherrscht werden. Selbstverständlich müssen dazu die beteiligten Motoren nicht nur die reine Bewegungsfunktion ausführen sondern auch Korrekturbewegungen mit ausführen.

[0011] Dadurch, dass dem Aktor jeweils ein entsprechend dem über Kraft- bzw. Längenmessmittel erfassbaren Kraft- bzw. Längenzustand im zugeordneten Stab ein Sollwert zur Stablängenkorrektur zuleitbar ist, kann auf den tatsächlich im System vorliegenden Istzustand geschlossen werden und es muss nicht von den zu erwartenden Sollzuständen ausgegangen werden.

[0012] In diesem Zusammenhang ist es auch vorteilhaft, dass zur jeweiligen Stablängen- bzw. Stabkrafterfassung jeweils ein Piezosensor vorgesehen ist, da derartige Sensoren sich als äußerst zuverlässig erwiesen haben. Wenn jedoch sowohl der Aktor als auch der Sensor nach dem Piezoprinzip arbeitet, ist es auch denkbar, dass die jeweiligen Piezoaktoren in Messphasen zur Stablängenerfassung bzw. zur Stabkrafterfassung als Piezosensor einsetzbar sind. Damit ergibt sich eine materialsparende Doppelnutzung.

[0013] Es ist aber auch möglich, dass zur Stablängen- bzw. Stabkrafterfassung Dehnungsmessstreifen als bewährt preisgünstige Sensoren einsetzbar sind.

[0014] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher erläutert.

[0015] Die Darstellung gemäß **Fig. 1** zeigt einen Tripod mit drei Stabpaaren bestehend aus Stäben S1 und S2 bzw. S3 und S4 bzw. S5 und S6. Die Stäbe S1 und S2 sind an einem Schlitten SCH1 und an einer Plattform P befestigt. Die Stäbe S3 und S4 sind an einem Schlitten SCH2 und ebenfalls an der Plattform P befestigt. Die Stäbe S5 und S6 sind an einem Schlitten SCH3 und ebenfalls an der Plattform P angeschlagen. Die Plattform P ist im Ausführungsbeispiel Träger eines Werkzeugs WZ, das zur Bearbeitung eines Werkstückes WS dient, welches sich auf einem Tisch T befindet.

[0016] Die Schlitten SCH1, SCH2 und SCH3 verfahren in x-Richtung entlang einer Führung F. Die zugeordneten Antriebe sind in der Darstellung verdeckt. Wenn alle drei Schlitten SCH1, SCH2 und SCH3 ohne Relativbewegung zueinander verfahren werden, führt dies zu einer reinen Bewegung in x-Richtung. Sofern orthogonal dazu die y-Richtung oder die z-Richtung vom Werkzeug WZ angefahren werden soll, müssen die Schlitten SCH1 bis SCH3 relativ zueinander bewegt werden. Insoweit entspricht der Tripod dem Stand der Technik.

[0017] Wesentlich für die vorliegende Erfindung ist es nun, dass sich in den Stäben S1 bis S6 Piezoaktoren zur Stablängenkompensation befinden. Dies ist für den Stab S1 in der Darstellung gemäß **Fig. 2** durch den Piezoaktor PA1 angedeutet. In dieser Darstellung ist auch beidseitig des Stabes

S1 das jeweils erforderliche Gelenk G11 bzw. G12 symbolhaft angedeutet und ferner ist ein Dehnungsmessstreifen D1 zur Auslängungs- bzw. Krafterfassung im Stab S1 durch einen waagerechten Strich angedeutet. Für die Stäbe S2 bis S6 wären Piezoaktoren PA2 bis PA6 entsprechend einsetzbar. Gleichermaßen gilt für die Gelenke und Dehnungsmessstreifen.

[0018] In der Darstellung gemäß **Fig. 3** ist nun gezeigt, dass prinzipiell drei Eingangsgrößen für einen Umsetzer U1 Ansteuersignale für die Stablängenkorrektur aller möglichen Piezoaktoren erzeugen können. Die Stablängenkorrekturen sind als s_{PA1} bis s_{PA6} bezeichnet, da sie den Piezoaktoren PA1 bis PA6 der Stäbe S1 bis S6 zugeleitet werden sollen. Zur statischen Kompensation sind die vom Verfahrogramm angestrebten Orte, des Werkzeugs WZ als kartesische Orte x_{WZ} , y_{WZ} und z_{WZ} vorgesehen. Abhängig von diesen Sollpositionen kann dann der Umsetzer U1 eine statische Kompensation vornehmen.

[0019] Die Kompensationsgrößen können beispielsweise durch Berechnung oder in Form von aus Messungen vorgenommenen tabellarischen Zusammenhängen im Umsetzer U1 vorhanden sein.

[0020] Zusätzlich ist es auch möglich, die entsprechend den Beschleunigungen des Werkzeugs WZ, in den Achsen x, y und z, d. h. den Beschleunigungen a_x , a_y und a_z auftretenden dynamischen Fehler vorzuhalten. Dies würde eine dynamische Kompensation ermöglichen. Auch ist eine Kompensation entsprechend der Kraft am Werkzeug, d. h. entsprechend den kartesischen Kräfte F_x , F_y und F_z in gleicher Weise möglich. Die Korrekturgrößen für das statische, das dynamische und das Kraftverhalten sind im Umsetzer U1 überlagerbar und führen zu entsprechenden Ausgangssignalen zur Stablängenkorrektur s_{PA1} bis s_{PA6} der Stäbe S1 bis S6.

[0021] Wenn jedoch nicht nur die entsprechend dem beabsichtigten Prozess zu erwartenden Informationen über Ort und Bewegung des Werkzeugs und über die vermutete Kraft am Werkzeug vorliegen, sondern zur Istgrößenerfassung vorliegt, ergibt sich ein weiterer erforderlicher Ansatz. Die tatsächlichen Kräfte in den Stäben bzw. die wirkten Ausdehnungen, die damit verbunden sind, werden wie dies in der Darstellung gemäß **Fig. 4** gezeigt ist, einem Umsetzer U2 zugeführt. Dabei dienen als Eingangsgrößen des Umsetzers U2 also Aussagen über die jeweilige Kraft im Stab d. h. über Kräfte F_{S1} bis F_{S6} für die Stäbe S1 bis S6. Als Ausgangsgrößen resultieren wiederum Stablängenkorrekturen s_{PA1} bis s_{PA6} . Die Kräfte in den Stäben S1 bis S6 können entweder durch Dehnungsmessstreifen ermittelt werden, wie dies in der Darstellung gemäß **Fig. 2** durch einen Dehnungsmessstreifen D1 symbolisiert war, jedoch ist es auch möglich, dass die Kraft durch die Piezoaktoren PA1 bis PA6 erfasst wird. Denkbar wäre dazu ein Einschleifen extrem kurzer Messintervalle in den eigentlichen Bewegungsprozess oder aber in konventioneller Manier eine Krafterfassung während abfahrbarer Messzyklen.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Patentansprüche

1. Produktionsmaschine, auch Werkzeugmaschine oder Roboter, bei der ein Aggregat mittels einer von Verfahrrachsen antreibbaren Parallelkinematikanordnung mit kraftaufnehmenden Stäben im Raum positionierbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass in mindestens einem der Stäbe (S1–S6) ein Linearaktor (PA1) vorgesehen ist, dessen Bewegungsachse mit der jeweiligen Stabachse (S1) korrespondiert.
2. Produktionsmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Aktor jeweils ein Piezoaktor (PA1) vorgesehen ist.

3. Produktionsmaschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem Aktor (PA1) jeweils entsprechend der Position des Aggregats (WZ) zugeordneter Sollwert (x_{WZ} , y_{WZ} , z_{WZ}) zur statischen Stablängenkorrektur zuleitbar ist.

4. Produktionsmaschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem Aktor (PA1) jeweils entsprechend der Beschleunigung des Aggregats (WZ) ein zugeordneter Sollwert (a_x , a_y , a_z) zur dynamischen Stablängenkorrektur zuleitbar ist.

5. Produktionsmaschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem Aktor (PA1) jeweils entsprechend einer Lastwirkung am Aggregat (WZ) ein zugeordneter Sollwert (F_x , F_y , F_z) zur lastabhängigen Stablängenkorrektur zuleitbar ist.

6. Produktionsmaschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in so vielen Stäben (S1–S6) jeweils ein Linearaktor (PA1) vorgesehen ist, dass unter Zuhilfenahme einiger oder aller Verfahrrachsen der Stäbe (S1–S6) alle erforderlichen Bewegungsfreiheitsgrade beherrschbar sind.

7. Produktionsmaschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass dem Aktor jeweils ein entsprechend dem über Kraft- bzw. Längenmessmittel (PA1) erfassbaren Kraft- bzw. Längenzustand im zugeordneten Stab (S1–S6) ein Sollwert (s_{PA1} – s_{PA6}) zur Stablängenkorrektur zuleitbar ist.

8. Produktionsmaschine nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass zur jeweiligen Stablängen- bzw. Stabkrafterfassung jeweils ein Piezosensor vorgesehen ist.

9. Produktionsmaschine nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweiligen Piezoaktoren (PA1) in Messphasen zur Stablängenerfassung bzw. zur Stabkrafterfassung als Piezosensor einsetzbar sind.

10. Produktionsmaschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Stablängen- bzw. Stabkrafterfassung Dehnungsmessstreifen vorgesehen sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

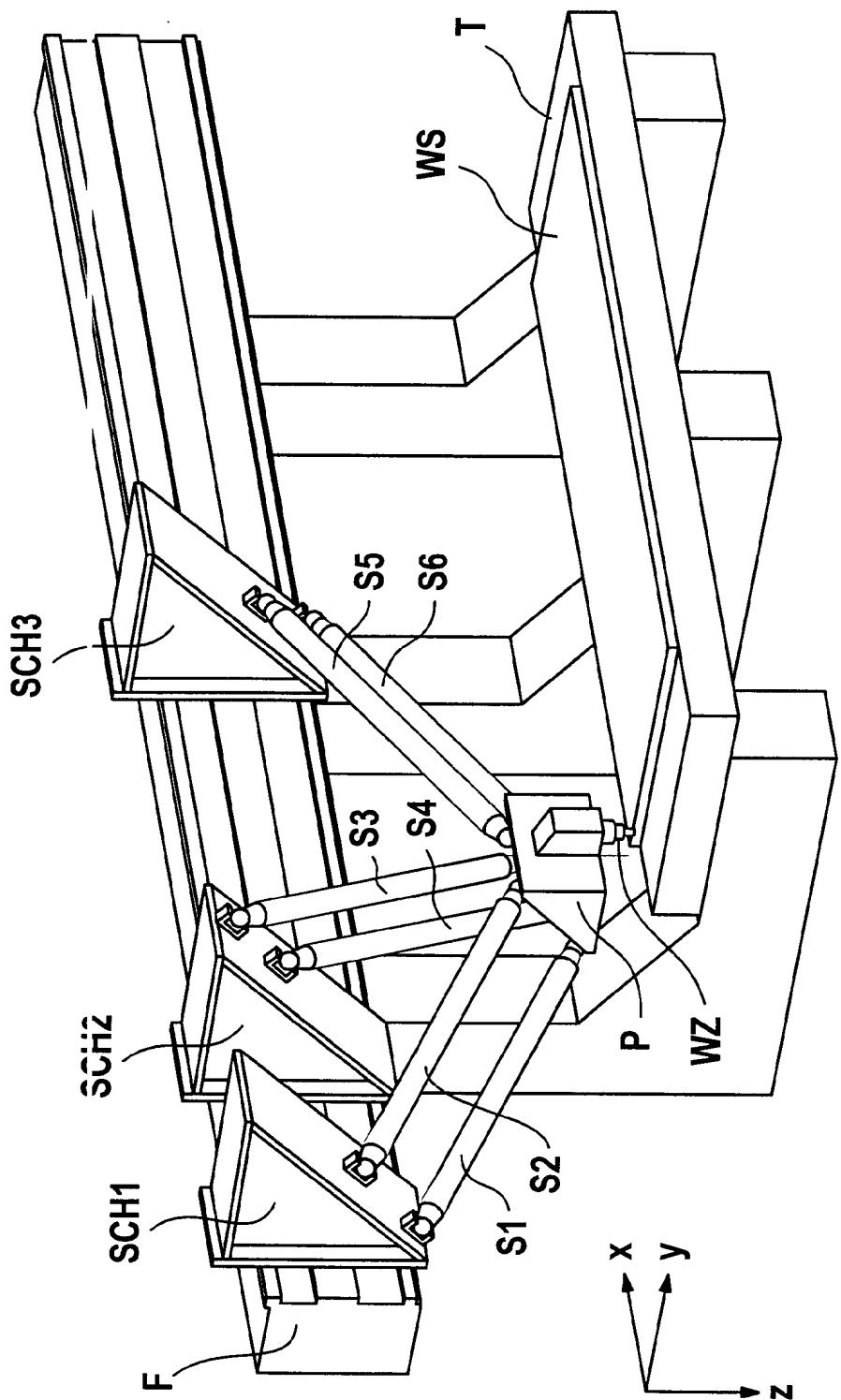


FIG 1

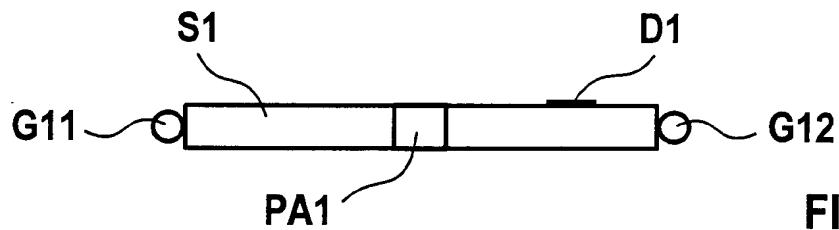
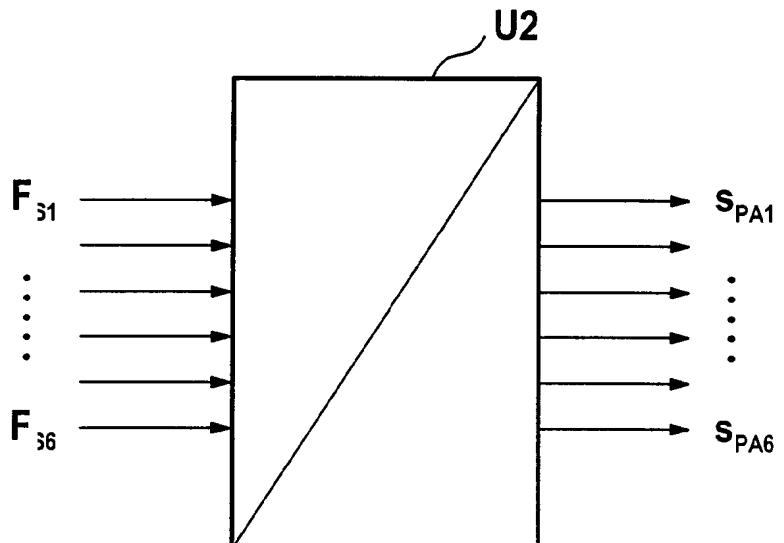
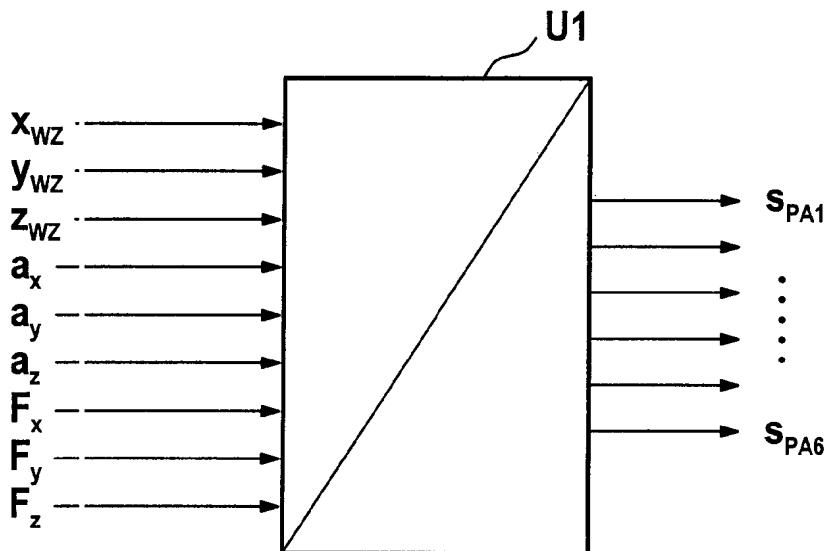


FIG 2



Production machine on parallel kinetic principle corrects platform tripod rod position errors by piezoactuators built into respective rods for on-line control.

Publication number: DE10126848

Publication date: 2002-12-12

Inventor: HAMANN JENS (DE); LADRA UWE (DE); SCHAEFERS ELMAR (DE)

Applicant: SIEMENS AG (DE)

Classification:

- **international:** B23Q1/54; B25J9/16; B25J17/02; G05B19/404; H02N2/00; B23Q1/25; B25J9/16; B25J17/02; G05B19/404; H02N2/00; (IPC1-7): B23Q1/44; B25J18/00

- **european:** B23Q1/54B3; B25J9/16K3; B25J17/02F2; G05B19/404

Application number: DE20011026848 20010601

Priority number(s): DE20011026848 20010601

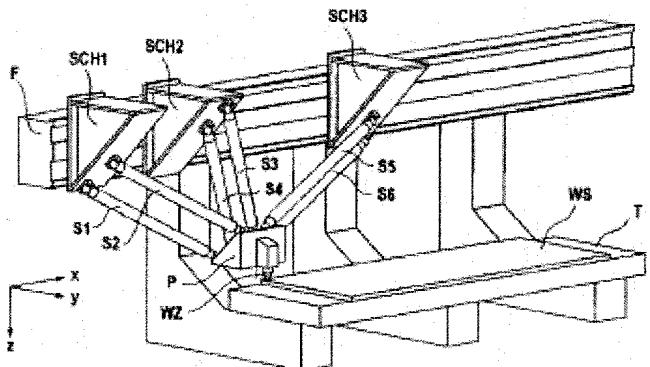
Also published as:

- WO02098603 (A1)
- EP1392471 (A1)
- US6979932 (B2)
- US2004150291 (A1)
- EP1392471 (A0)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE10126848

One or more of the rods (S1-S6) contains a linear actuator moving co-planarly with the rod. The actuator is of the piezo type and is fed with an ideal value corresponding to the tool (WZ) position for static correction of the respective rod length. The actuator is also supplied with a second ideal value equal to the tool speed, in this case for the dynamic correction of the rod length. A third value fed to the actuator relates to the load on the tool (WZ), here for the rod length correction in terms of load. All actuators together control all possible freedoms of movement.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide